

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-138270

(43) 公開日 平成9年(1997)5月27日

(51) IntCl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 S	7/02		G 0 1 S	7/02 F
	7/40			7/40 C
H 0 1 Q	3/26		H 0 1 Q	3/26 Z

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平7-298366

(22) 出願日 平成7年(1995)11月16日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 渡部 勉

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝小向工場内

(72) 発明者 宮野 憲明

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝小向工場内

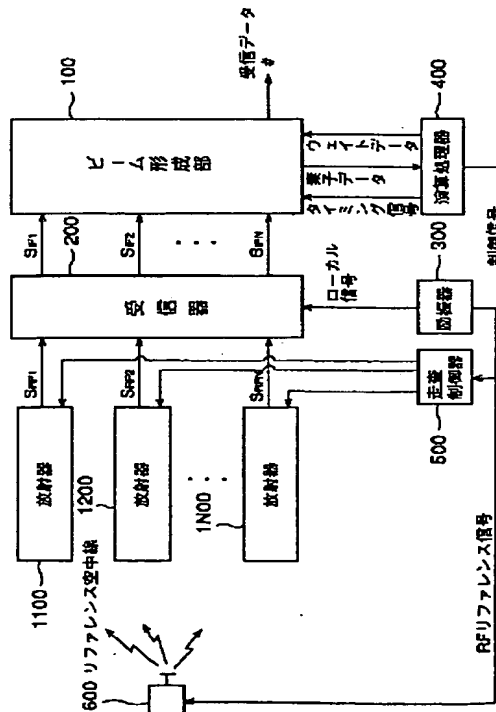
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 フェーズドアレイアンテナ装置

(57) 【要約】

【課題】 短時間のうちにアンテナの波面補正や素子の故障診断を行なうことが可能なフェーズドアレイアンテナ装置を提供する。

【解決手段】 各放射器1100～1N00の複数の送受信モジュールのうち、それぞれ1つの送受信モジュールが演算処理器400からの制御信号によって受信動作状態に設定される。リファレンス空中線600より空間に放射される励振器300のRFリファレンス信号は、上記受信動作状態の複数の送受信モジュールによって受信されたのち、受信器200によってそれぞれ周波数変換され、ビーム形成部100により素子データが抽出される。演算処理器400は、この素子データから上記送受信モジュールの受信信号の位相および振幅のデータを検出し、上記送受信モジュールの初期の位相および振幅のデータと比較して、上記送受信モジュールに対する補正データおよびウェイトデータを算出するようにしたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ローカル信号、およびこのローカル信号に基づくRFリファレンス信号を生成する励振手段と、前記RFリファレンス信号を送信するリファレンス空中線と、

アレイ配列された複数の素子アンテナと、対応する前記素子アンテナとRF信号を授受しその位相と振幅を制御信号に基づいて制御する複数の送受信モジュールと、この複数の送受信モジュールの出力する受信信号を合成し、RF合成信号として出力するRF合成回路とを備える複数の放射器と、

この複数の放射器ごとに、前記複数の送受信モジュールの位相と振幅を制御するための制御信号を生成する走査制御手段と、

前記複数の放射器が出力するRF合成信号を、前記ローカル信号を用いてそれぞれ独立に周波数変換し受信IF信号として出力する周波数変換手段と、

この周波数変換手段が出力する複数の受信IF信号をそれぞれ独立にデジタル信号に変換し、素子信号として出力するアナログ／デジタル変換手段と、

このアナログ／デジタル変換手段が出力する複数の素子信号を、外部からのウェイトデータに応じてそれぞれ独立に重み付けを行なったのちに互いに加算してビーム形成を行ない、その加算結果を受信データとして出力するビーム形成手段と、

前記アナログ／デジタル変換手段が出力する複数の素子信号から互いに同一タイミングでデータを抽出する素子信号抽出手段と、

この素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、前記複数の放射器が出力するRF合成信号の振幅および位相を検出する演算処理手段とを具備したことを特徴とするフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項2】 さらに、前記演算処理手段は、前記走査制御手段を通じて、前記複数の放射器の各々に対して一部の前記送受信モジュールのみを動作させる制御を、すべての前記送受信モジュールについて順次行なう機能を備えることを特徴とする請求項1に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項3】 さらに、前記演算処理手段は、前記素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた前記送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた前記送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して前記受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づき、前記走査制御手段を通じて、対応する前記送受信モジュールの移相量と利得とを制御する機能とを有することを特徴とする請求項2に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項4】 さらに、前記演算処理手段は、前記素子

信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた前記送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた前記送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して前記受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づいて前記ウェイトデータを算出し、ビーム形成手段の重み付けを制御する機能とを有することを特徴とする請求項2に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項5】 さらに、前記演算処理手段は、前記素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた前記送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた前記送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して前記受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量が予め設定した値を越えた時に、対応する前記送受信モジュールを故障素子として検出する機能とを有することを特徴とする請求項2に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項6】 さらに、前記演算処理手段は、前記走査制御手段を通じて、前記複数の送受信モジュールのうち一部の当該モジュールを動作させる機能と、前記素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた前記送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた前記送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して前記受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づき、アレイ配列された前記複数の素子アンテナによって形成されるアンテナ開口面における連続的な前記変動量の分布状態を算出する機能を備えることを特徴とする請求項1に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項7】 さらに、前記演算処理手段は、アンテナ開口面における連続的な前記変動量の分布状態を算出する機能の算出結果に基づき、前記走査制御手段を通じて、前記送受信モジュールの移相量と利得とを制御する機能を有することを特徴とする請求項6に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項8】 さらに、前記演算処理手段は、アンテナ開口面における連続的な前記変動量の分布状態を算出する機能の算出結果に基づく前記ウェイトデータを算出し、ビーム形成手段の重み付けを制御する機能を有することを特徴とする請求項6に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【請求項9】 少なくとも素子アンテナと、この素子アンテナとRF信号を授受し位相と振幅を制御信号に基づいて制御する送受信モジュールとを備える複数の放射器

と、
 この複数の放射器ごとに、前記複数の送受信モジュールの位相と振幅を制御するための制御信号を生成する走査制御手段と、
 ローカル信号、およびこのローカル信号に基づく RF パイロット信号を生成する励振手段と、
 前記 RF パイロット信号を複数の分配する機能と、この機能によって分配された複数の前記 RF パイロット信号と前記複数の放射器が出力する複数の信号とのうち一方を選択する機能と、この機能によって選択された複数の信号をそれぞれ前記ローカル信号を用いて周波数変換し、受信 IF 信号として出力する複数の周波数変換機能とを備える周波数変換手段と、
 この周波数変換手段が出力する複数の受信 IF 信号をそれぞれ独立にデジタル信号に変換し、素子信号として出力するアナログ／デジタル変換手段と、
 このアナログ／デジタル変換手段が出力する複数の素子信号を、外部からのウェイトデータに応じてそれぞれ独立に重み付けを行なったのちに互いに加算してビーム形成を行ない、受信データとして出力するビーム形成手段と、
 前記アナログ／デジタル変換手段が出力する複数の素子信号から同一タイミングでデータを抽出する素子信号抽出手段と、
 この素子信号抽出手段によって抽出されたデータから前記周波数変換手段が出力する複数の受信 IF 信号の振幅および位相を検出する演算処理手段とを具備したことを特徴とするフェーズドアレイアンテナ装置。
 【請求項 10】 さらに、前記演算処理手段は、前記周波数変換手段が前記 RF パイロット信号を周波数変換している時に、前記素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、対応する前記周波数変換手段の出力する受信 IF 信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と以前の検出結果とを比較して前記受信 IF 信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づいて前記ウェイトデータを算出し、ビーム形成手段の重み付けを制御する機能とを有することを特徴とする請求項 9 に記載のフェーズドアレイアンテナ装置。
 【請求項 11】 さらに、前記演算処理手段は、前記周波数変換手段が前記 RF パイロット信号を周波数変換している時に、前記素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、対応する前記周波数変換手段の出力する受信 IF 信号の振幅および位相を検出したする機能と、この機能によって検出された検出結果と以前の検出結果とを比較して前記受信 IF 信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量が予め設定した値を越えた時に、対応する前記周波数変換機能を故障として検出する機能とを有することを特徴とする請求項 9 に記載のフェーズドアレイアンテナ

装置。

【請求項 12】 さらに、前記ビーム形成手段は、前記アナログ／デジタル変換手段が出力する複数の素子信号に対して、演算処理手段からのウェイトデータを用いてそれぞれ独立に重み付けを行なって補正したのちに、それぞれ独立にビーム形成のための重み付けを行ない、互いに加算して受信データとして出力することを特徴とする請求項 4、8 あるいは 10 のいずれかに記載のフェーズドアレイアンテナ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、レーダ装置、通信装置等に用いられ、自ら振幅や位相の補正、故障診断を行なう自己補正機能付きフェーズドアレイアンテナ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】レーダや通信などのアンテナ装置においては広範囲を高速で観測するためのビーム走査機能が要求される。このような機能を備える装置の一例として、アレイ状に複数の送受信モジュールを配列したフェーズドアレイアンテナ装置がある。このフェーズドアレイアンテナ装置では、各送受信モジュールにおける送受信信号の通過位相を制御することによってアンテナ装置本体を固定した状態でビーム走査を行なうようにしている。

【0003】ところで、上記フェーズドアレイアンテナ装置の通過位相の制御は、電波環境やアンテナ内部の温度変化等により変動するため、各送受信モジュールについて振幅や位相の補正、故障診断を定期的に行なうようにしている。特に素子数が多い場合には、上記の検査と補正にかなりの時間と労力を要するためフェーズドアレイアンテナ装置本体に自己補正機能を備えるようにしている。

【0004】以下、図 11 を参照して、従来の自己補正機能を備えたフェーズドアレイアンテナ装置について説明する。尚、図 11 には、特に受信系についてのみ図示した。観測対象からのレーダエコーは、素子アンテナ 1111～111M にて受信され、それぞれに対応する送受信モジュール 1121～112M にて振幅と位相が制御される。尚、これらの送受信モジュール 1121～112M は、走査制御器 500 によって制御される。送受信モジュール 1121～112M から出力される受信信号は、RF 合成回路 1140 にて RF (アナログ) 合成されて受信器 210 に入力される。

【0005】RF 合成回路 1140 からの RF 合成信号は、受信器 210 において後述する励振器 300 からのローカル信号によって周波数変換される。そして、この周波数変換後、信号処理器 110 で I/Q 直交検波 (または、位相検波した後に、A/D 変換) されて、受信データが得られる。

【0006】ところで、送受信モジュール 1121～112M の補正は、演算処理回路 410 の制御信号に基づいて走査制

御器500 が補正対象となる特定の送受信モジュールのみONにしておく。そして、励振器300 のローカル信号から生成したRFリファレンス信号を用いて行なわれる。

【0007】このRFリファレンス信号は、リファレンス空中線600 に入力され、空間を介してアレイ配列された素子アンテナ1111~111Mに放射される。空間に放射されたRFリファレンス信号は、素子アンテナ1111~111Mで受信され、前述の特定の送受信モジュールを通過した信号のみがRF合成回路1140を介して受信器210 に入力される。

【0008】そして、前述の観測対象からのレーダエコーの場合と同様に受信器210 にて周波数変換されたのち信号処理器110 の検波により受信データが得られ、演算回路410 からのタイミング信号のタイミングでデータが抽出され、演算回路410 に入力される。

【0009】演算回路410 は、上記データから前述の特定の送受信モジュールの受信信号の振幅と位相を検出し、当該送受信モジュールの初期の振幅および位相のデータと比較して調整に必要な振幅と位相の補正量を算出する。

【0010】以上の操作を順次、繰り返して全ての素子の上記補正量を算出後、この補正量に基づき、走査制御器500 を通じてアンテナの波面補正を行なう。また、送受信モジュールの故障診断を行なう場合には、同様にして受信データから振幅および位相を求め、初期の振幅および位相値と比較して故障判定を行なう。

【0011】しかしながら、上記構成による従来のフェーズドアレイアンテナ装置では、各素子の補正量あるいは故障診断を順次1つずつ検出しているため、特に素子数の多いアンテナにあってはすべての素子について上記検出を実施するにはかなりの時間が必要とされるという問題があった。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来のフェーズドアレイアンテナ装置では、アンテナの波面補正や、素子の故障診断に多くの時間が必要とされるという問題があった。この発明は上記の問題を解決すべくなされたもので、短時間のうちに高精度のアンテナの波面の補正や素子の故障診断を行なうことが可能なフェーズドアレイアンテナ装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、この発明に係るフェーズドアレイアンテナ装置は、ローカル信号、およびこのローカル信号に基づくRFリファレンス信号を生成する励振手段と、RFリファレンス信号を送信するリファレンス空中線と、アレイ配列された複数の素子アンテナと、対応する素子アンテナとRF信号を授受しその位相と振幅を制御信号に基づいて制御する複数の送受信モジュールと、この複数の送受信モジュールの出力する受信信号を合成し、RF合成信

号として出力するRF合成回路とを備える複数の放射器と、複数の送受信モジュールを制御するための制御信号を生成する走査制御手段と、複数の放射器が出力するRF合成信号を、ローカル信号を用いてそれぞれ独立に周波数変換し受信IF信号として出力する周波数変換手段と、この周波数変換手段が出力する複数の受信IF信号をそれぞれ独立にデジタル信号に変換し、素子信号として出力するアナログ/デジタル変換手段と、このアナログ/デジタル変換手段が出力する複数の素子信号を、外部からのウェイトデータに応じてそれぞれ独立に重み付けを行なったのちに互いに加算してビーム形成を行ない、その加算結果を受信データとして出力するビーム形成手段と、アナログ/デジタル変換手段が出力する複数の素子信号から互いに同一タイミングでデータを抽出する素子信号抽出手段と、この素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、複数の放射器が出力するRF合成信号の振幅および位相を検出する演算処理手段とを具備することを特徴とする。

【0014】上記構成によるフェーズドアレイアンテナ装置によれば、各放射器ごとに、例えば1つずつ送受信モジュールを動作させてRFリファレンス信号を受信することにより、動作させた送受信モジュールの受信信号が各放射器の出力するRF合成信号となって出力される。そして、このRF合成信号に基づくデータから、一括して動作させた送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する。

【0015】したがって、定期的に同一のRFリファレンス信号を用いて送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出することが可能で、なおかつ放射器の数だけ一括して検出することができる。このため、短時間で精度の高い検出を行なうことが可能となる。

【0016】さらに、上記演算処理手段は、上記走査制御手段を通じて、複数の放射器の各々に対して一部の送受信モジュールのみを動作させる制御を、すべての送受信モジュールについて順次行なう機能を備えることを特徴とする。これにより、短時間のうちにすべての送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出することができる。

【0017】さらに、演算処理手段は、素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づき、走査制御手段を通じて、対応する送受信モジュールの移相量と利得とを制御する機能とを有することを特徴とする。

【0018】この構成によれば、短時間のうちに高い精

10

20

30

40

50

度ですべての送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出し、この検出結果と以前に検出した結果とを比較して変動量を求め、この変動量に基づいて走査制御手段を通じ、対応する送受信モジュールの移相量と利得とを制御する。したがって、短時間のうちに高い精度ですべての送受信モジュールを較正して、アンテナ波面の補正を完了させることが可能になる。

【0019】さらに、演算処理手段は、素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づいてウェイトデータを算出し、ビーム形成手段の重み付けを制御する機能とを有することを特徴とする。

【0020】この構成によれば、短時間のうちに高い精度ですべての送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出し、この検出結果と以前に検出した結果とを比較して変動量を求め、この変動量に基づくウェイトデータを算出してビーム形成手段の重み付けを制御する。したがって、短時間のうちに高い精度で、受信信号の振幅や位相を補正し、ビーム形成することが可能である。

【0021】さらに、演算処理手段は、素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量が予め設定した値を越えた時に、対応する送受信モジュールを故障素子として検出する機能とを有することを特徴とする。

【0022】この構成によれば、短時間のうちに高い精度ですべての送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出し、この検出結果と以前に検出した結果とを比較して変動量を求め、この変動量が予め設定した値を越えた場合には、当該変動量に対応する送受信モジュールを故障素子として検出する。したがって、短時間ですべての送受信モジュールについて高精度の故障診断をすることができる。

【0023】さらに、演算処理手段は、走査制御手段を通じて、複数の送受信モジュールのうち一部の当該モジュールを動作させる機能と、素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、動作させた送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と、動作させた送受信モジュールの以前の検出結果とを比較して受信信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づき、アレイ配列

された複数の素子アンテナによって形成されるアンテナ開口面における連続的な変動量の分布状態を算出する機能を備えることを特徴とする。

【0024】この構成によれば、複数の送受信モジュールのうち一部の当該モジュールを動作させて、動作させた送受信モジュールの出力する受信信号の振幅および位相を検出する。そして、この検出結果と以前に検出した結果とを比較して変動量を求め、この変動量に基づいてアレイ配列された複数の素子アンテナによって形成されるアンテナ開口面における連続的な変動量の分布状態を算出する。これにより、すべての送受信モジュールの変動量を求めることができる。したがって、一部の送受信モジュールについての上記変動量を検出するだけで、すべての送受信モジュールについての上記変動量を検出することができる。

【0025】さらに、演算処理手段は、アンテナ開口面における連続的な変動量の分布状態を算出する機能の算出結果に基づき、走査制御手段を通じて、送受信モジュールの移相量と利得とを制御する機能を有することを特徴とする。

【0026】この構成によれば、変動量の分布状態の算出結果に基づいて、対応する送受信モジュールの移相量と利得とを制御する。したがって、短時間のうちにすべての送受信モジュールを較正して、アンテナ波面の補正を完了させることが可能になる。

【0027】さらに、演算処理手段は、アンテナ開口面における連続的な変動量の分布状態を算出する機能の算出結果に基づくウェイトデータを算出し、ビーム形成手段の重み付けを制御する機能を有することを特徴とする。

【0028】この構成によれば、変動量の分布状態の算出結果に基づいて、ウェイトデータを算出し、ビーム形成手段の重み付けを制御する。したがって、短時間のうちに受信信号の振幅や位相を補正し、ビーム形成することが可能である。

【0029】また、この発明に係るフェーズドアレイアンテナ装置は、少なくとも素子アンテナと、この素子アンテナとRF信号を授受し位相と振幅を制御信号に基づいて制御する送受信モジュールとを備える複数の放射器と、この複数の放射器ごとに、複数の送受信モジュールの位相と振幅を制御するための制御信号を生成する走査制御手段と、ローカル信号、およびこのローカル信号に基づくRFパイロット信号を生成する励振手段と、RFパイロット信号を複数の分配する機能と、この機能によって分配された複数のRFパイロット信号と複数の放射器が出力する複数の信号とのうち一方を選択する機能と、この機能によって選択された複数の信号をそれぞれローカル信号を用いて周波数変換し、受信IF信号として出力する複数の周波数変換機能とを備える周波数変換手段と、この周波数変換手段が出力する複数の受信IF

信号をそれぞれ独立にディジタル信号に変換し、素子信号として出力するアナログ／ディジタル変換手段と、このアナログ／ディジタル変換手段が出力する複数の素子信号を、外部からのウェイトデータに応じてそれぞれ独立に重み付けを行なったのちに互いに加算してビーム形成を行ない、受信データとして出力するビーム形成手段と、アナログ／ディジタル変換手段が出力する複数の素子信号から同一タイミングでデータを抽出する素子信号抽出手段と、この素子信号抽出手段によって抽出されたデータから周波数変換手段が出力する複数の受信 I F 信号の振幅および位相を検出する演算処理手段とを具備したことを特徴とする。

【0030】上記構成によるフェーズドアレイアンテナ装置によれば、周波数変換手段において R F パイロット信号を選択して周波数変換を行なっている場合に、上記複数の受信 I F 信号に基づくデータから、一括して各周波数変換機能の出力する受信 I F 信号の振幅および位相を検出する。

【0031】したがって、定期的に同一の R F パイロット信号を用いて受信 I F 信号の振幅および位相を検出することが可能で、なおかつ上記複数の受信 I F 信号について一括して上記検出を行なうことができるため、短時間で精度の高い検出を行なうことが可能となる。

【0032】さらに、演算処理手段は、周波数変換手段が R F パイロット信号を周波数変換している時に、素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、対応する周波数変換手段の出力する受信 I F 信号の振幅および位相を検出する機能と、この機能によって検出された検出結果と以前の検出結果とを比較して受信 I F 信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量に基づいてウェイトデータを算出し、ビーム形成手段の重み付けを制御する機能とを有することを特徴とする。

【0033】この構成によれば、短時間のうちに高い精度ですべての受信 I F 信号の振幅および位相を検出し、この検出結果と以前に検出した結果とを比較して変動量を求め、この変動量に基づくウェイトデータを算出してビーム形成手段の重み付けを制御する。したがって、短時間のうちに高い精度で受信信号の振幅や位相を補正し、ビーム形成することが可能である。

【0034】さらに、演算処理手段は、周波数変換手段が R F パイロット信号を周波数変換している時に、素子信号抽出手段によって抽出されたデータから、対応する周波数変換手段の出力する受信 I F 信号の振幅および位相を検出したする機能と、この機能によって検出された検出結果と以前の検出結果とを比較して受信 I F 信号の振幅および位相についての変動量を算出する機能と、この機能によって得られる変動量が予め設定した値を越えた時に、対応する周波数変換機能を故障として検出する機能とを有することを特徴とする。

【0035】この構成によれば、短時間のうちに高い精度ですべての周波数変換機能の出力する受信 I F 信号の振幅および位相を検出し、この検出結果と以前に検出した結果とを比較して変動量を求め、この変動量が予め設定した値を越えた場合、対応する周波数変換機能を故障として検出する。したがって、短時間ですべての周波数変換機能について高精度の故障診断をすることができ

る。

【0036】

10 【発明の実施の形態】まず、図 1 を参照してこの発明に係るフェーズドアレイアンテナ装置の一実施形態を説明する。尚、図 1 には、特に受信系についてのみ図示した。観測対象からのレーダエコーは、放射器 1100～1N00 にて受信される。この放射器 1100～1N00 は、後述するように M 個の素子アンテナと、それに対応する M 個の送受信モジュールとをそれぞれ備え、走査制御器 500 からの制御信号に基づいて受信した信号の振幅と位相を制御し、受信 R F 信号 SRF1～SRFN として受信器 200 に入力する。

20 【0037】受信器 200 は、上記受信 R F 信号を励振器 300 で発振されたローカル信号を用いて周波数変換し、それぞれ受信 I F 信号 SIF1～SIFN としてビーム形成部 100 に入力する。

【0038】ビーム形成部 100 は、上記受信 I F 信号に対して I/Q 直交検波を行なう。そして、この検波結果から、演算処理器 400 からのタイミング信号のタイミングでデータを抽出し、N チャンネルの素子データ S として演算処理器 400 に入力するとともに、上記検波結果に対して演算処理器 400 からのウェイトデータに基づく重み付け加算処理を施してビーム形成する。このようにしてビーム形成された信号は、受信データ # として出力される。

30 【0039】演算処理器 400 は、ビーム形成部 100 に前述のタイミング信号を入力して、N チャンネルの素子データ S を得る。そして、この素子データ S から受信 R F 信号 SRF1～SRFN の位相データおよび振幅データを検出する。その後、初期の位相データおよび振幅データと比較して、位相と振幅の変動量（補正データ）を算出し、この補正データに応じた上記ウェイトデータと、制御信号とを出力する。この制御信号は走査制御器 500 に入力される。

40 【0040】走査制御器 500 は、上記制御信号に基づいて、各放射器 1100～1N00 の送受信モジュールに対する制御を行なう。励振器 300 は、前述したようにローカル信号を発振する。また、送受信モジュールの調整および故障診断時にはこのローカル信号を用いて R F リファレンス信号を生成する。この R F リファレンス信号は、リファレンス空中線 600 に入力され、空間に放射される。

50 【0041】次に、図 2 を参照して上記放射器 1100 について詳細に説明する。放射器 1100 は、サブアレイ状に配

列されたM個の素子アンテナ1111～111M、この素子アンテナ1111～111Mにそれぞれ対応する送受信モジュール1121～112M、RF合成器1140、および中継ユニット1130を備えている。

【0042】素子アンテナ1111～111Mは、観測対象からのレーダエコーを受信し、それぞれ対応する送受信モジュール1121～112Mに入力する。中継ユニット1130は、各送受信モジュール1121～112Mに前述の走査制御器500からの制御信号を入力する。

【0043】送受信モジュール1121～112Mは、中継ユニット1130からの制御信号に基づいて、対応する素子アンテナ1111～111Mの受信信号に対して後述するような各種の信号制御を行ない、RF合成器1140に入力する。

【0044】RF合成器1140は、送受信モジュール1121～112Mの出力信号を合成して、前述の受信RF信号SRF1として受信器200に出力する。尚、放射器1200～1N00については、放射器1100と同様の構成であることより説明は省略する。

【0045】次に、図3を参照して送受信モジュール1121について詳細に説明する。送受信モジュール1121は、T/Rスイッチ1151、低雑音増幅器1152、移相器1153、バッファアンプ1154、およびこれらを制御する制御回路1155を備えている。

【0046】素子アンテナ1111からの受信信号は、T/Rスイッチ1151を介したのち低雑音増幅器1152で増幅され、その後移相器1153により位相制御される。そして、このあとバッファアンプ1154で再度増幅され、受信RF信号としてRF合成器1140に入力される。

【0047】制御回路1155は、中継ユニット1130を介して入力される走査制御器500からの制御信号に基づいてT/Rスイッチ1151を送信/受信に応じて切り替え制御し、低雑音増幅器1152をON/OFF制御し、移相器1153の通過位相を制御する。また、バッファアンプ1154をON/OFF制御することにより、当該送受信モジュール1121のON/OFFを制御している。

【0048】尚、送受信モジュール1122～112Mについては、送受信モジュール1121と同様の構成であることより説明は省略する。次に、図4を参照してビーム形成部100について詳細に説明する。ビーム形成部100は、N個のA/D変換器111～11Nと、これらにそれぞれ対応するN個のラッチ回路121～12Nと、ビーム形成器130と、パラレル/シリアル変換器140とを備えている。

【0049】A/D変換器111～11Nは、それぞれ対応する受信RF信号SRF1～SRFNが入力され、この信号をデジタル信号に変換するとともに、I/Qの直交信号を形成して、対応するラッチ回路121～12Nに入力する。

【0050】ラッチ回路121～12Nは、それぞれA/D変換器で検波されたI/Q直交信号を、デジタル受信信号SD1～SDNとしてビーム形成器130に入力すると

もに、I/Q直交信号から前述のタイミング信号のタイミングでデータを抽出する。このNチャンネルのパラレルのデータは、パラレル/シリアル変換器140に入力される。

【0051】ビーム形成器130は、演算処理器400からのウェイトデータW11～WNKが入力され、上記各デジタル受信信号SD1～SDNに対して、上記ウェイトデータに基づく重み付け加算処理を施す。そして、この処理結果を受信データ#1～#Kとして出力する。

【0052】パラレル/シリアル変換器140は、ラッチ回路121～12Nによって同期抽出されたNチャンネルのパラレルの素子データS1～SNをシリアル信号に変換し、これを素子データSとして演算処理器400に入力する。

【0053】次に、図5を参照してビーム形成器130について詳細に説明する。ビーム形成器130は、N個の遅延回路1311～131Nと、K個のビーム形成回路1301～130Kとを備えている。

【0054】遅延回路1311～131Nは、それぞれデジタル受信信号SD1～SDNを異なる遅延時間(τ , 2τ , ..., $N\tau$)だけ遅延させる。遅延回路1311～131Nの出力は、それぞれK分配されてビーム形成回路1301～130Kに入力される。

【0055】ビーム形成回路1301は、乗算回路1321～132Nおよび加算回路1331～133Nを備えている。乗算回路1321～132Nは、それぞれ対応する遅延回路1311～131Nからの出力と、それぞれ対応する前述のウェイトデータW11～WN1が入力され、上記遅延回路の出力に対して上記ウェイトデータを用いて複素乗算による重み付けを行なう。加算回路1331～133Nは、乗算回路1321～132Nの出力を前述の遅延時間に合わせシストリック状に順次加算し、受信データ#1として出力する。

【0056】また、ビーム形成回路1302～130Kについてもビーム形成回路1301と同様に、対応するウェイトデータが入力され、それぞれ受信データ#2～#Kを得る。以下、上記構成における自己補正動作について説明する。まず、励振器300で生成されたRFリファレンス信号が、リファレンス空中線600に入力される。そして、空間に放射され、放射器1100～1N00によって受信される。

【0057】この時、放射器1100～1N00では、演算処理器400の制御信号が走査制御器500を通じて入力される。そして上記制御信号によって各放射器1100～1N00内のM個の送受信モジュールのうち、それぞれ1つだけが受信動作(ON)状態に設定される。これは、図3に示すバッファアンプ1154をON/OFF制御することによりなされる。したがって、N個の送受信モジュールによって受信された上記RFリファレンス信号が、それぞれ受信RF信号SRF1～SRFNとして出力される。

【0058】これらの受信RF信号SRF1～SRFNは、

受信器200によってそれぞれ周波数変換されたのち、それぞれビーム形成部100に受信IF信号SIF1～SIFNとして、それぞれビーム形成部100のA/D変換器111～11Nに入力される。そして、この受信IF信号は、A/D変換器111～11Nによってデジタル信号に変換されるとともにI/Qの直交信号として形成される。

【0059】これらの直交信号は、それぞれラッチ回路121～12Nを通じてビーム形成器130に入力されるとともに、ラッチ回路121～12Nにより互いに同一タイミングでデータが抽出される。そして、これらのNチャンネルの素子データS1～SNは、パラレル/シリアル変換器140よりシリアル素子データSに変換され演算処理器400に入力される。

【0060】これに対して、演算処理器400は、素子データSから受信RF信号SRF1～SRFNの位相および振幅のデータを検出し、予め測定しておいた初期の位相および振幅のデータとを比較して、上記N個の送受信モジュールに対する補正データを算出する。

【0061】そして、以上の動作を、順次、動作状態にするN個の送受信モジュールを変えてM回繰り返すことにより、すべて(M×N個)の送受信モジュールについて補正データを算出する。

【0062】そして、演算処理器400は、すべての送受信モジュールに対する補正データの算出が終わると、この補正データに基づく制御信号を走査制御器500を介して、各送受信モジュールに入力してアンテナ波面の補正(キャリブレーション)を行なう。

【0063】一方、ビーム形成部100のビーム形成器130に対しては、上記補正データに基づいて、ビーム形成用の通常の複素ウェイトに、上記補正データに基づくチャンネル間の補正用のウェイトを積算したものをウェイトデータW11～W1Nとして出力する。これに対しビーム形成回路1301～130Kは、上記ウェイトデータW11～W1Nを用いて、重み付け加算処理を施してビーム形成を行なう。

【0064】すなわち、上記構成のフェーズドアレイアンテナ装置によれば、M×N個の送受信モジュールを有する場合に、送受信モジュールの校正に必要な補正データを一度にN個算出することが可能なため、この補正データの算出をM回繰り返すだけですべての送受信モジュールの補正データを求めることができる。したがって、短時間のうちにすべての送受信モジュールを校正して、アンテナ波面の補正を完了させることが可能になる。

【0065】また、一般にアンテナ装置において上記構成の複数の素子アンテナ1111～111Mや送受信モジュール1121～112Mを有する場合には、これらについて故障発生状況(故障箇所や故障箇所の数など)をセンシングする機能が要求される。しかし、このアンテナ装置によれば、すべての送受信モジュール1121～112Mの出力する受信信号の位相データおよび振幅データと、初期の

位相データおよび振幅データとを比較して増幅器のゲインの低下や移相器の制御不良などの異常箇所を検出することができるので、故障箇所や故障箇所の数を適確に把握できる。

【0066】また、ビーム形成用の通常の複素ウェイトに、上記補正データに基づくチャンネル間の補正用のウェイトを積算して、上記ウェイトデータW11～W1Nを設定するようにしているため、各放射器1100～1100単位で受信信号の振幅や位相を制御することが可能である。

【0067】尚、上記実施形態では、ビーム形成用の通常の複素ウェイトとチャンネル間の補正用のウェイトとを積算したウェイトデータW11～W1Nを用いて、ビーム形成器130によりビーム形成とチャンネル間の補正とを同時に行なっている。しかし、これに限定されるものではなく、例えば、ビーム形成器130に代わり、図6に示すようなビーム形成器131にしてもよい。

【0068】このビーム形成器131では、遅延回路1311～131Nによって遅延したデジタル受信信号SD1～SDNを、それぞれ乗算回路1341～134Nによってチャンネル間の補正用の重み付け処理を行なったのち、それぞれK分配してビーム形成回路1301～130Kに入力する。

【0069】そして、ビーム形成回路1301～130Kでは、乗算回路1321～132Nによって通常のビーム形成用の重み付け処理を行なったのち、加算回路1331～133Nによって遅延時間に合わせてシストリック状に順次加算して、所望のビームを形成するようにする。

【0070】このように、チャンネル間の補正用の重み付け処理と、ビーム形成用の重み付け処理とを別々に行なうようにしても、同様の効果を奏することはいうまでもない。

【0071】また、受信器200および励振器300は、上述の構成に限定されるものではなく、例えば図7に示す受信器201および励振器301で構成するようにしてもよい。以下、受信器200および励振器300に代わり、受信器201および励振器301を適用した場合について説明する。

【0072】受信器201は、周波数変換器211～21N、RF分配器220および230を備えている。励振器301は、ローカル信号を発振してRF分配器230に入力するとともに、上記ローカル信号を用いてRFパイロット信号を生成してRF分配器220に入力する。

【0073】RF分配器220は、RFパイロット信号をN分配し、RFパイロット信号SPL1～SPLNとしてそれぞれ周波数変換器211～21Nに入力する。同様に、RF分配器230は、上記ローカル信号をN分配し、ローカル信号L1～LNとしてそれぞれ周波数変換器211～21Nに入力する。

【0074】周波数変換器211～21Nは、送受信モジュール1121～112Mからの受信RF信号SRF1～SRFNと、上記RFパイロット信号SPL1～SPLNが入力され、選

10

20

30

40

50

択的に一方の信号をローカル信号 L1 ~ LN を用いて周波数変換し、受信 IF 信号 IF1 ~ IFN1 としてビーム形成部 100 に入力する。

【0075】次に、図 8 を参照して、周波数変換器 211 の詳細な構成について説明する。周波数変換器 211 は、RF スイッチ 2111、RF アンプ 2112、ミキサ 2113、フィルタ 2114 および IF アンプ 2115 を備えている。

【0076】RF スイッチ 2111 は、受信 RF 信号 SRF1 と RF パイロット信号 SPL1 とが入力され、選択的に一方の信号を RF アンプ 2112 に入力する。RF アンプ 2112 は、RF スイッチ 2111 からの信号を増幅して入力す

る。

【0077】ミキサ 2113 は、ローカル信号 L1 を用いて RF アンプ 2112 の出力信号を周波数変換したのち、フィルタ 2114 を介して IF アンプ 2115 に入力する。IF アンプ 2115 は、フィルタ 2114 からの出力信号を中間周波増幅し、ビーム形成部 100 に入力する。

【0078】尚、周波数変換器 212 ~ 21N についても、周波数変換器 211 と同様の構成であることより説明を省略する。以上の構成のアンテナ装置によれば、通常の受信動作時には、各周波数変換器 212 ~ 21N の RF ス

イッチ 2111 が、それぞれ受信 RF 信号 SRF1 ~ SRFN を選択して、前述の実施形態と同様にして信号処理を行ない、受信データを得る。

【0079】一方、調整および故障診断時には、各周波数変換器 212 ~ 21N の RF スイッチ 2111 が、それぞれ RF パイロット信号 SPL1 ~ SPLN を選択するように設定する。これにより、RF パイロット信号 SPL1 ~ SPLN が、それぞれ周波数変換器 212 ~ 21N によって周波数変換され、ビーム形成部 100 に入力される。

【0080】そして、ビーム形成部 100 では、前述の実施形態と同様にして得た N チャンネルの素子データ S1 ~ SN を演算処理器 400 に入力する。これに対し、演算処理器 400 は、素子データ S から受信 RF 信号 SRF1 ~ SRFN の位相および振幅のデータを検出し、RF パイロット信号 SPL1 ~ SPLN を用いて予め測定しておいた初期の位相および振幅のデータとを比較する。そして、位相と振幅の変動量（補正データ）を算出し、この補正データに応じた上記ウェイトデータをビーム形成部 100 に出力する。

【0081】これに対し、ビーム形成部 100 では、ビーム形成回路 1301 ~ 130K により上記ウェイトデータを用いて重み付け加算処理を施してビーム形成を行なう。尚、上記ウェイトデータは、ビーム形成用の通常の複素ウェイトに、上記補正データに基づくチャンネル間の補正用のウェイトを積算したものである。

【0082】したがって、上記構成によれば、同一の RF パイロット信号 SPL1 ~ SPLN を用いて、定期的に受信器 200 以降に生じ得る変動成分（振幅や位相の誤差）を演算処理器 400 にて検出することが可能で、なおかつ

すべての受信 IF 信号について一括して上記検出を行なうことができる。

【0083】このため、受信器 200 の温度変化等の影響によって生じる各チャンネル間の振幅および位相の誤差の検出や、受信器 200 より後段に生じ得る上記誤差の補正および故障の検出が短時間のうちに高い精度で行なうが可能となる。

【0084】尚、前述の実施形態と同様にビーム形成器 130 に代わり、図 6 に示すようなビーム形成器 131 を用いて、各チャンネル間の振幅および位相の誤差を補正し、所望のビームを形成するようにしても、同様の効果を奏することはいうまでもない。

【0085】ところで、複数の素子アンテナが面状にアレイ配列されたアレイアンテナにおいては、アンテナ内部もしくは外部で発生する熱や圧力等により電気的あるいは機械的に位相や振幅の変動が生じる。

【0086】例えば、熱に関しては、送受信モジュールを冷却する冷却機械の冷却性能によって温度分布が生じたり、外部の熱源によって局部的に暖められることにより温度分布や変動が生じる。また、圧力に関しては、風圧や振動によりアンテナ開口面が歪み、変動が生じる。

【0087】これら熱や圧力の変動は、アンテナ開口面において時間とともに連続的に滑らかに変化して、アレイ配列された複数の素子アンテナ間において時間とともに変動する振幅や位相の誤差となる。

【0088】この発明は、このような時間とともに変動する素子アンテナ間の振幅や位相の誤差に対しても有効である。以下、図 9 を参照して説明する。尚、前述の構成と同じものについては同一の符号を付号し、詳細な説明は省略する。

【0089】図 9 に示すアンテナ装置の基本構成は、図 1 に示したアンテナ装置と同様であるが、放射器 1100 ~ 1N00 の素子アンテナ 1111 ~ 111M を面状にアレイ配列して、アンテナ開口面 700 を形成している。すなわち、このアンテナ装置は、M × N（縦 × 横）個の素子アンテナが面アレイ配列されたアンテナ開口面 700 によって、1 次元 DBF（Digital Beam Forming）方式（縦方向 RF 合成方式、横方向 DBF 方式）によるビーム走査を行なう。以下、上記構成における自己補正動作について説明する。

【0090】励振器 300 からの RF リファレンス信号が、リファレンス空中線 600 より空間に放射される。一方、放射器 1100 ~ 1N00 には、演算処理器 401 の制御信号が走査制御器 500 を通じて入力され、この制御信号にしたがって、各放射器 1100 ~ 1N00 の送受信モジュールのうち、それぞれ 1 つだけが受信動作（ON）状態に設定される（以下、動作素子と称する）。

【0091】尚、これらの動作素子は、離散的な配列になるように選択する。例えば、図 10 に示すように、動作素子をアンテナ開口面 700 に対してメッシュ状になる

ように選択する。この図では、M（縦）が5個、N（横）が9個の素子アンテナが面アレイ配列された場合を示しており、各縦列には、動作素子が1素子ずつとなるようにしている。

【0092】そして、上記動作素子に対応する素子アンテナによって受信されたRFリファレンス信号は、受信RF信号SRF1～SRFNとして出力される。この受信RF信号SRF1～SRFNは、受信器200によってそれぞれ受信IF信号SIF1～SIFNに周波数変換され、それぞれビーム形成部100に入力される。

【0093】上記受信RF信号SRF1～SRFNは、ビーム形成部100によりデジタル信号に変換されるとともにI/Qの直交信号として形成される。そして、これらI/Q直交信号は、演算処理器401からのタイミング信号のタイミングでデータが抽出され、Nチャンネルの素子データSとして演算処理器401に転送される。

【0094】これに対して、演算処理器401は、上記素子データSから受信RF信号SRF1～SRFNの位相および振幅のデータを検出する。そして、この位相および振幅のデータと、動作素子の初期の位相および振幅のデータとを比較してそれぞれの変動量を算出する。そして、これらの変動量に基づいて、動作素子に対する補正データを算出する。

【0095】また、その他の受信動作状態にしなかった送受信モジュール（以下、非動作素子と称する）に対しては、上記動作素子との位置的な相関関係と、上記変動量とに基づいて補正データの推定値を算出する。

【0096】その後、上記補正データに基づいて、すべての送受信モジュールに対する補正（キャリブレーション）を行なう。尚、非動作素子に対する補正データの推定値の算出は、例えばスプライン補間処理により求めることができる。この様子を図11に示す。

【0097】図11において、X軸、Y軸は、それぞれアンテナ開口面の素子の座標を示し、Z軸は、位相もしくは振幅の初期状態からの変動量を示している。上述したように送受信モジュールを離散的に選択して受信動作状態にすることにより、N個の上記変動量が求まる。そして、これらN個の変動量に基づくスプライン補間処理を行ない、非動作素子の変動量を推定する。このようにして求めた変動量に基づいて、非動作素子の補正データの推定値の算出する。

【0098】以上のように、上記構成のアンテナ装置では、N個の送受信モジュールを離散的に選択して受信動作状態にし、これらの動作素子における位相および振幅の初期状態からの変動量を算出する。そして、これらの変動量に基づいて、すべての送受信モジュールに対する補正データを算出し、補正を行なうようにしている。

【0099】したがって、N個の送受信モジュールについての変動量を測定するだけで、すべての送受信モジュール1121～112Mに対する補正を行なうことができるた

め、前述の実施形態に比して、さらに短い時間のうちにアンテナ波面の補正を完了することができ、振幅や位相の誤差の時間的な変動に対しても追従することができる。

【0100】尚、上記実施形態ではアンテナ開口面を2次元の平板として説明したが、素子の座標が特定される形状であれば、3次元の任意の形状であっても適用することができる。

【0101】また、前述の実施形態と同様にビーム形成器130に代わり、図6に示すようなビーム形成器131を用いて、各チャンネル間の振幅および位相の誤差を補正し所望のビームを形成するようにしても、同様の効果を奏することはいうまでもない。

【0102】以上の実施形態において、リファレンス空中線600は、アンテナ開口面と対向するように設置されている場合を図示しているが、例えばアンテナ開口面の一部もしくは複数箇所に設置するようにしてもよい。また、ある素子アンテナをリファレンス空中線として共用するようにしてもよい。

【0103】また、特にアクティブ・フェーズドアレイについて説明したが、増幅器等を含まない移相器を用いたパッシブフェーズドアレイの場合でも、送受信モジュールの故障診断、位相補正、およびビーム形成やチャンネル間の補正を行なうことができる。

【0104】さらに、放射器には複数（M個）の素子アンテナと送受信モジュールとが配列された構成例を示しているが、必ずしも複数ある必要はなく、M=1の場合でも適応できる。その他、この発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変形を施しても同様に実施可能であることはいうまでもない。

【0105】

【発明の効果】以上述べたように、この発明によれば、短時間のうちに高精度のアンテナの波面の補正や素子の故障診断を行なうことが可能なフェーズドアレイアンテナ装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係るフェーズドアレイアンテナ装置の一実施形態の構成を示す図。

【図2】図1に示したフェーズドアレイアンテナ装置の放射器の構成を示す図。

【図3】図2に示した放射器の送受信モジュールの構成を示す図。

【図4】図1に示したフェーズドアレイアンテナ装置のビーム形成部の構成を示す図。

【図5】図4に示したビーム形成部のビーム形成器の構成を示す図。

【図6】図4に示したビーム形成部のビーム形成器の他の構成を示す図。

【図7】図1に示したフェーズドアレイアンテナ装置の受信器の構成を示す図。

【図8】図7に示した受信器の周波数変換器の構成を示す図。

【図9】図1に示したフェーズドアレイアンテナ装置の素子アンテナを面状にアレイ配列した場合の構成を示す図。

【図10】図9に示したアンテナ開口面にアレイ配列された素子のうち、動作素子の配列例を示す図。

【図11】図9に示したアンテナ開口面における位相もしくは振幅の変動量の連続的な変化を示す図。

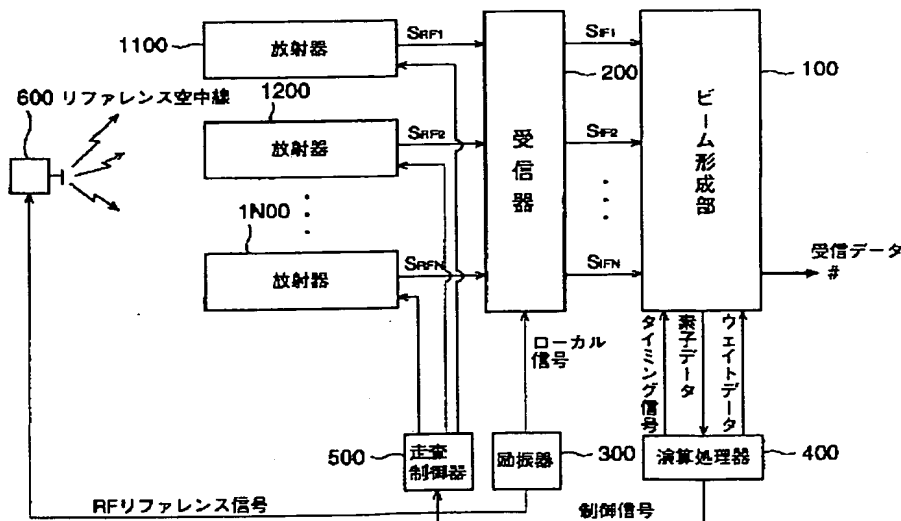
【図12】従来のフェーズドアレイアンテナ装置の構成を示す図。

【符号の説明】

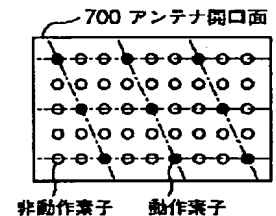
100, 110 …ビーム形成部
200, 201, 210 …受信器
300, 301 …励振器
400, 401 …演算処理器
500 …走査制御器
600 …リファレンス空中線
700 …アンテナ開口面
111 ~ 11N …A/D変換器
121 ~ 12N …ラッチ回路
130, 131 …ビーム形成器

140 …パラレル/シリアル変換器
211 ~ 21N …周波数変換器
220, 230 …RF分配器
1100 ~ 1N00 …放射器
1111 ~ 1N1M …素子アンテナ
1121 ~ 112M …送受信モジュール
1130 …中継ユニット
1140 …RF合成器
1151 …T/Rスイッチ
1152 …低雑音増幅器
1153 …移相器
1154 …バッファアンプ
1155 …制御回路
1301 ~ 130K …ビーム形成回路
1311 ~ 131N …遅延回路
1321 ~ 132N, 1341 ~ 134N …乗算回路
1331 ~ 133N …加算回路
2111 …RFスイッチ
2112 …RFアンプ
20 2113 …ミキサ
2114 …フィルタ
2115 …IFアンプ

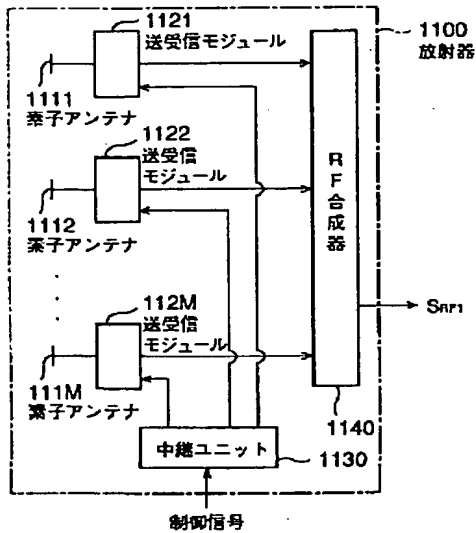
【図1】



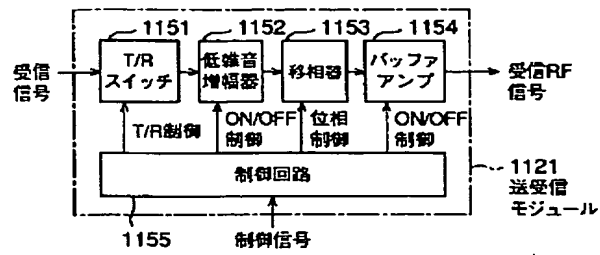
【図10】



【図 2】



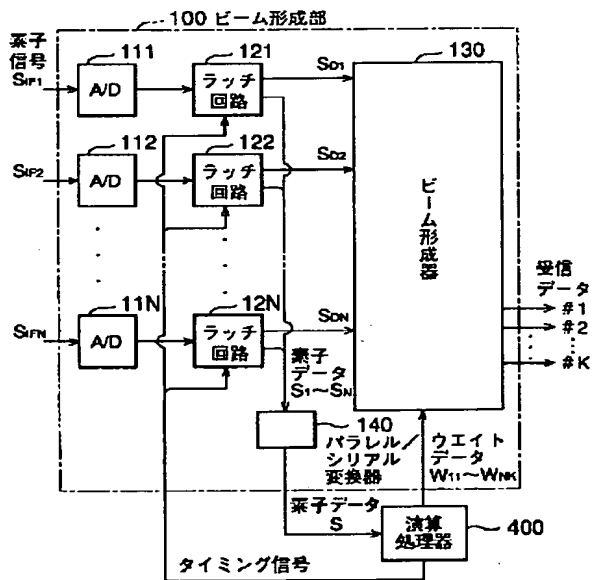
【図 3】



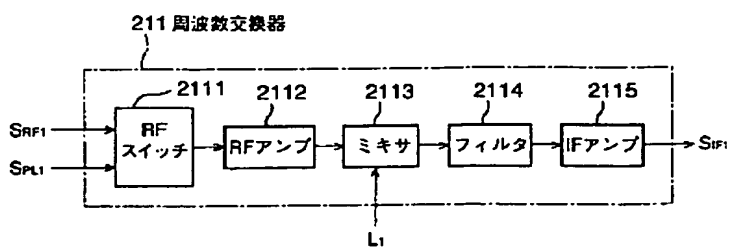
【図 5】



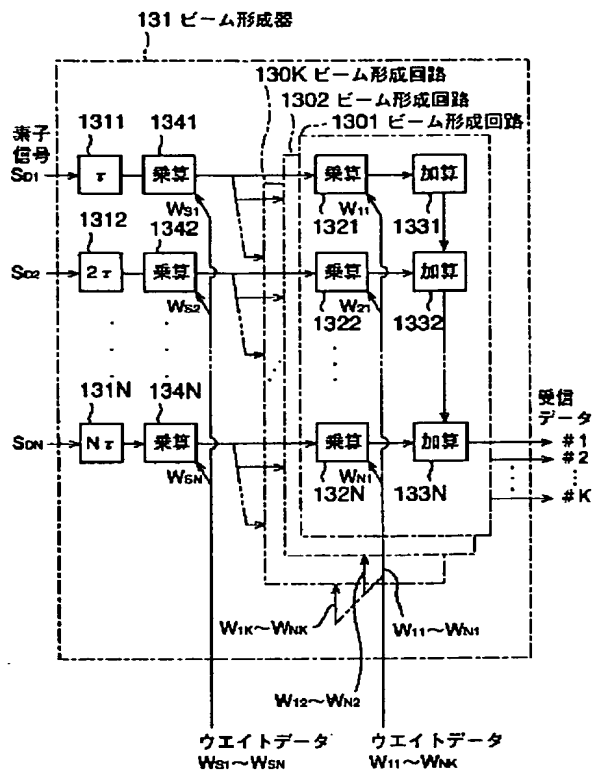
【図 4】



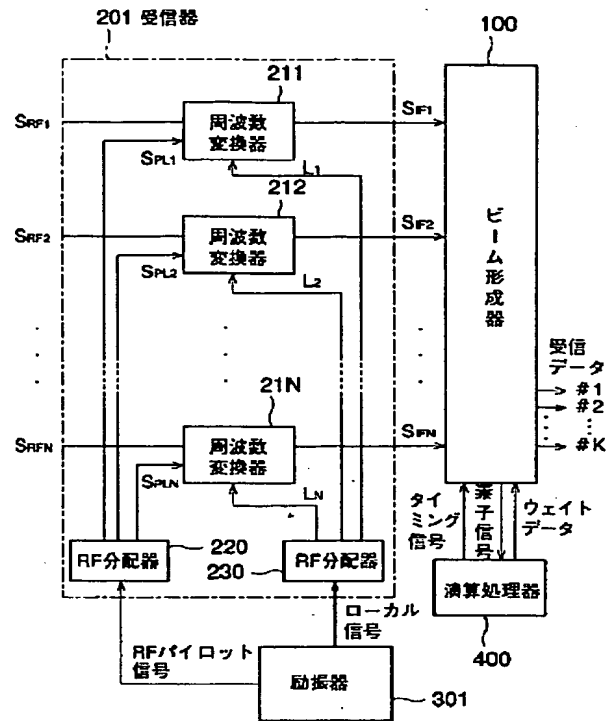
【図 8】



【図6】

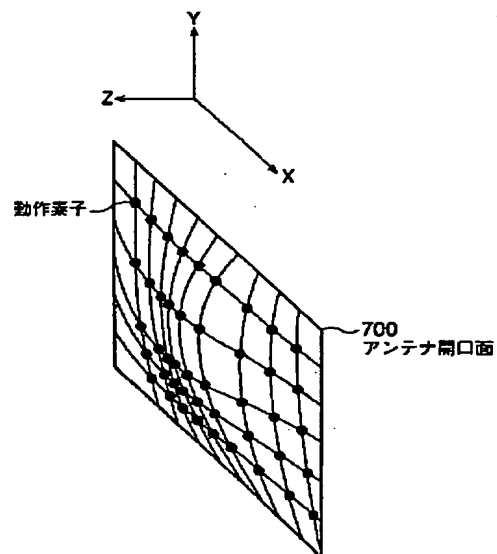
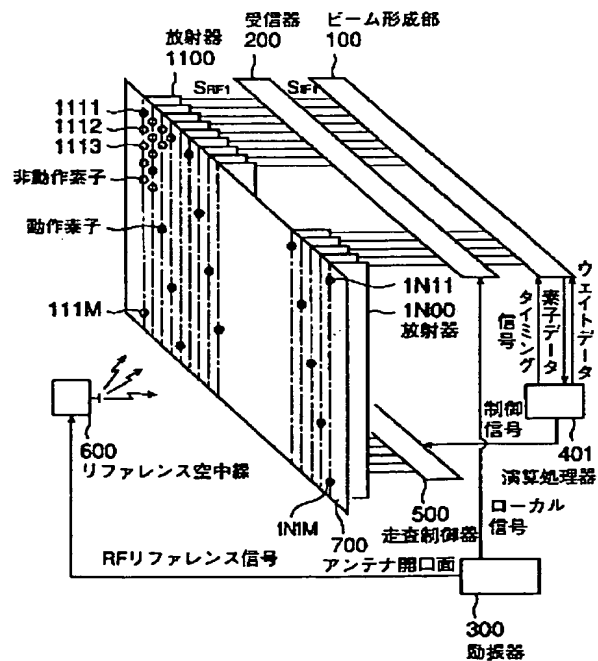


【図7】



【図11】

【図9】



【図 1 2】

